

1AP20 Rec'd PCT/PTO 22 JUN 2006

## 明 細 書

## 角速度計測装置および脚式移動ロボット

## 技術分野

[0001] 本発明は角速度計測装置と脚式移動ロボットとに関する。。

## 背景技術

[0002] 角速度を検出するセンサ(レートジャイロ)としては、振動ジャイロ、ガスレートジャイロなどが公知である。また、例えば特開2000-66722号(以下、特許文献1という)に見られるように、検出可能な角速度の範囲が比較的狭い高感度ジャイロセンサと、検出可能な角速度の範囲が比較的広い低感度ジャイロセンサとを移動体に搭載し、移動体に発生する角速度の大きさに応じて低感度ジャイロセンサと高感度ジャイロセンサとを選択的に切り替えることで、幅広い範囲での角速度の計測を可能としたものが知られている。

[0003] ところで、例えば2足移動ロボットでは、その姿勢制御を行なうために、レートジャイロなどの角速度計測装置が搭載されている。この場合、従来の2足移動ロボットでは、歩行やおじぎなどの比較的ゆっくりした動作が行なわれていたが、近年では、走行やボールを蹴るなど、ロボットの素早い動きが要求されるようになってきている。そして、このような運動を2足移動ロボットに行なわせるためには、2足移動ロボットの姿勢を所望の姿勢に素早く確実に制御する必要がある。このため、そのロボットに搭載する角速度計測装置には、角速度の変化に対する計測値の応答性が高いこと(角速度の急変に対して計測値も同じように素早く変化すること)と、定常的な角速度に対する計測値の精度が安定して高いことが要求されるようになってきている。

[0004] しかるに、角速度計測装置としての従来の各種のレートジャイロは、それぞれ一長一短があり、上記の要求を十分に満足することができないものとなっていた。この点について説明すると、一般的な振動ジャイロは起歪体、すなわちセンサに付与された角速度によって変形する部分に、電氣的変換にも有利な水晶などの硬質の固体を用いている。従って、振動ジャイロは、角速度に対する反応は速い。但し、振動ジャイロは、温度変化など角速度とは無関係の外乱でも起歪体の形状に変化をもたらす要因が

生じればその影響を受けるので、これが振動ジャイロの出力にドリフトとなって現れる。一方、ガスレートセンサはガス流を通路内に発生させ、これを起歪体として用い、この通路下流に設けられた一对のヒートワイヤに対するガス流の偏向分を角速度として検出している。このため、ガスレートセンサでは、例えば熱膨張等で通路の形状が変化してもガス流の偏向が生じない限り角速度の検出に影響はない。但し、ガスレートセンサのガス流は、起歪体としては固体の追従性より劣るので、高周波の角速度検出には不向きである。

[0005] また、前記特許文献1に見られる技術思想を適用して、特性が異なる2つのセンサの検出出力を適宜、選択的に切り替えて使用することも考えられる。しかし、このようにした場合には、センサの検出出力の切り替えの際に、角速度の計測値が不連続となりやすい。また、角速度の急激な変化に対しては、検出出力の切り替えが遅れ、角速度の計測値の応答性を確保することが困難である。そして、このような計測値を、2足移動ロボットの姿勢制御に用いても、2足移動ロボットの素早い動きを適切に制御することは困難である。

[0006] なお、応答性が良好で且つ定常的な角速度に対しても安定した検出出力を発生する角速度計として、リングレーザジャイロやファイバーオプティカルジャイロ等が知られている。しかるに、これらはいずれも振動ジャイロおよびガスレートジャイロに比べて高価なものであった。

[0007] 本発明はかかる背景に鑑みてなされたものであり、角速度の計測値の高い応答性と安定性とを有する角速度計測装置を安価に提供することを目的とする。また、姿勢制御を適切に行なうことができる脚式移動ロボットを提供することを目的とする。。

## 発明の開示

[0008] 本発明の角速度計測装置は、前記の目的を達成するために、角速度の検出出力を発生する第1のセンサと、角速度の検出出力を発生し、該第1のセンサよりも検出出力のドリフト量が少ない第2のセンサと、前記第1のセンサの検出出力が入力されるとともに該検出出力のうちの所定の周波数よりも高い高域周波数成分を出力する高域周波数通過フィルタと、該高域周波数通過フィルタの出力値を逐次記憶保持する記憶手段と、該高域周波数通過フィルタの出力値から前記記憶手段に記憶保持さ

れている所定時間前の出力値を減じる処理を逐次実行する減算処理手段と、該減算処理手段により得られた値を前記第2のセンサの出力値に加える処理を逐次実行する加算処理手段とを備え、該加算処理手段により求められた値を角速度の計測値として得るようにしたことを特徴とする。

[0009] かかる本発明によれば、前記第1のセンサの検出出力を高域周波数通過フィルタに入力するので、該高域周波数通過フィルタの出力値は、第1のセンサの検出出力の低域周波数成分を除去したものになる。そして、前記記憶手段により当該出力値は逐次記憶保持される。これと並行して前記減算処理手段により、該高域周波数通過フィルタの出力値は、所定時間前の出力値分だけ減算処理される。このため、当該減算処理後に得られる出力値は、所定時間内、すなわち所定時間前から現在の時刻にいたるまで第1のセンサに生じた角速度の変化量に対する検出値に相当するものとなる。従って、第1のセンサの起動後から所定時間前までの期間で第1のセンサに生じた検出出力あるいは高域周波数通過フィルタのドリフト分も排除される。

[0010] なお、後述するが、上記所定時間はきわめて短い時間（例えば数ミリ秒）であるので、該所定時間内に生じた検出値のドリフト分は無視できる程度の極めて少ない量である。また、ここでいうドリフトとは、第1のセンサの検出出力が示す角速度の検出値が、時刻に応じて、所定の角速度（実際の角速度）に対して差異を生じることを指す。角速度を検出するためのセンサとして、例えば振動ジャイロを使用した場合、この振動ジャイロで高精度な測定を行うためには、一般的に、まず高域周波数通過フィルタによって該振動ジャイロの検出出力のうちの低域周波数成分を除去する必要がある。これは温度変化などに起因した機械的影響による振動ジャイロの静止時の検出出力の変動を除去するためである。通常、振動ジャイロは所定の角速度に対して所定量の検出出力を発生するのではなく、静止時の検出出力から角速度に応じた所定量の検出出力を発生する。

[0011] このため、振動ジャイロのようなセンサを第1のセンサとして使用した場合、前記高域周波数通過フィルタは所定の角速度に対する検出出力の差異を低減する上で効果を奏する。しかしながら、第1のセンサの検出出力のうち、低域周波数成分が除去されると、低域周波数の角速度もしくは一定の角速度に対して、これに対応する検出

出力が得られないこととなり、実際の角速度からドリフトを生じる。しかるに、本発明によれば、高域周波数通過フィルタおよび減算処理手段により得られる値(以下、単に減算値ということがある)を前記所定時間内での実際の角速度の変化量としてとらえ、前記加算処理手段により該減算値を第2のセンサの検出出力に加えることで角速度の計測値を得る。この場合、第2のセンサは、その検出出力のドリフト量が第1のセンサよりも少ないため、低域周波数の角速度または一定の角速度に対しては、ドリフト量が少ない安定した計測値を得ることができる。また、高域周波数の角速度に対しては、第1のセンサの出力特性(外乱に対する出力特性や角速度変化に対する応答特性)を反映させた計測値を得ることができるので、高域周波数の角速度に対する第1のセンサの出力特性を、第2のセンサの出力特性で補うようにして角速度の計測値を得ることができる。

[0012] かかる本発明の角速度計測装置では、前記第1のセンサは前記第2のセンサよりも角速度の変化に対する検出出力の応答遅れが短い出力特性を有するとともに、前記所定時間は、前記第1のセンサの応答遅れと第2のセンサの応答遅れとの差に応じた時間に設定されていることが好適である。

[0013] これによれば、第1のセンサおよび第2のセンサの検出出力のドリフト特性と応答性とを相互に補完したものとして、角速度の計測値が得られる。すなわち、実際の角速度の変化に対する計測値の応答性が第1のセンサとほぼ同等になると同時に、実際の角速度がほぼ一定に維持されている状態での計測値の安定性が第2のセンサとほぼ同等になる。よって、角速度の計測値は、第1のセンサのより好ましい応答性と、第2のセンサのより好ましい安定性とを併せもつものとなり、その応答性と安定性との両者を良好なものとすることができる。また、前記所定時間を適切に設定できるので、実際の角速度の変化が比較的急激であるときの、角速度の計測値の応答性を良好に保ちつつ該角速度の計測値の精度を高めることができる。

[0014] さらに、本発明の角速度計測装置では、前記第1のセンサは振動ジャイロであり、前記第2のセンサはガスレートジャイロであることが好適である。

[0015] すなわち、振動ジャイロの検出出力は、角速度の変化に対する応答性が高く、また、ガスレートジャイロの検出出力は、角速度がほぼ一定であるときの安定性が高い。

従って、これらの振動ジャイロおよびガスレートジャイロをそれぞれ第1のセンサ、第2のセンサとして使用することで、本発明の角速度計測装置の応答性と安定性との両者を好適に高めることができる。また、安価な振動ジャイロおよびガスレートジャイロの使用により、総じて高精度な角速度計測装置を安価に提供することができる。

[0016] 次に、本発明の脚式移動ロボットは、

上体から延設された2本の脚体と、

角速度の検出出力を発生する第1のセンサと、角速度の検出出力を発生し、該第1のセンサよりも検出出力のドリフト量が少ない第2のセンサと、前記第1のセンサの検出出力が入力されるとともに該検出出力のうちの所定の周波数よりも高い高域周波数成分を出力する高域周波数通過フィルタと、該高域周波数通過フィルタの出力値を逐次記憶保持する記憶手段と、該高域周波数通過フィルタの出力値から前記記憶手段に記憶保持されている所定時間前の出力値を減じる処理を逐次実行する減算処理手段と、該減算処理手段により得られた値を前記第2のセンサの出力値に加える処理を逐次実行する加算処理手段とを備え、該加算処理手段により求められた値を角速度の計測値として得るようにした角速度計測装置と、

少なくとも該角速度計測装置から得られる角速度の計測値を基に、所定の部位の姿勢角を推定する姿勢角推定手段と、

少なくとも該姿勢角推定手段により推定した姿勢角を基に該ロボットの関節駆動指令信号を生成する制御手段とを備え、

該関節駆動指令信号に応じてロボットの関節を駆動する関節アクチュエータを動作させるようにしたことを特徴とすることを特徴とする。

[0017] この脚式移動ロボットによれば、少なくとも前記角速度計測装置による角速度の計測値を基に、姿勢角推定手段により、ロボットの所定の部位の姿勢角を推定するので、該所定の部位の運動速度によらずに、該所定の部位の姿勢角を精度よく推定することが可能となる。従って、少なくともその姿勢角を基に、ロボットの関節駆動指令信号を生成して、この関節駆動指令信号に応じてロボットの関節アクチュエータを動作させることによって、ロボットの素早い運動やゆっくりした運動によらずに、ロボットの姿勢を所望の姿勢に適切に制御することが可能となる。

- [0018] なお、前記角速度計測装置にあつては、前記したように、前記第1のセンサは前記第2のセンサよりも角速度の変化に対する検出出力の応答遅れが短い出力特性を有するとともに、前記所定時間は、前記第1のセンサの応答遅れと第2のセンサの応答遅れとの差に応じた時間に設定されていることが好適である。さらに、前記第1のセンサは振動ジャイロであり、前記第2のセンサはガスレートジャイロであることが好適である。
- [0019] かかる本発明の脚式移動ロボットでは、前記ロボットに作用する重力加速度を含む加速度を計測する加速度センサを備え、前記姿勢角推定手段は、前記角速度計測装置から得られる角速度の計測値と加速度センサから得られる加速度の計測値とを基に前記所定の部位の姿勢角を推定することが好適である。
- [0020] すなわち、前記角速度計測装置から得られる角速度の計測値を積分することで、前記所定の部位の姿勢角を推定することが可能であるが、その積分値には、誤差が累積しやすい。そこで、前記角速度計測装置に加えて加速度センサを備えて、それらの計測値を基に前記所定の部位の姿勢角を推定する。これにより、該姿勢角の推定値の精度を高めることが可能となる。
- [0021] なお、このように角速度計測装置と加速度センサとを使用する場合、前記姿勢角推定手段は、姿勢角の推定値を例えば次のように求めることが好ましい。すなわち角速度計測装置から得られる角速度の計測値を積分したものから、高域周波数通過フィルタ(ハイパスフィルタ)を介して所定の周波数よりも高い高域周波数成分を抽出する(所定周波数よりも低い低域周波数成分を除去する)と共に、加速度センサから得られる加速度の計測値から、低域周波数通過フィルタ(ローパスフィルタ)を介して所定の周波数よりも低い低域周波数成分を抽出する(所定周波数よりも高い高域周波数成分を除去する)。そして、加速度の計測値から抽出した低域周波数成分を基に前記所定の部位の姿勢角の基本値を求め、この基本値を、角速度の計測値の積分値から抽出した高域周波数成分のロボットの姿勢角に加えることで、姿勢角の推定値を求める。

#### 発明を実施するための最良の形態

- [0022] 本発明の角速度計測装置の一実施形態を図1～図5を参照して説明する。図1は

本実施形態の角速度計測装置の構成を示すブロック図、図2は図1に示す振動ジャイロ2と演算処理装置5との間の具体的な回路構成を示す回路図、図3は振動ジャイロの出力特性を示すグラフ、図4はガスレートジャイロの出力特性を示すグラフ、図5は図1の角速度計測装置の出力特性を示すグラフである。

- [0023] 図1を参照して、本実施形態の角速度計測装置1は、第1のセンサとしての振動ジャイロ2と、第2のセンサとしてのガスレートジャイロ3と、振動ジャイロ2の検出出力 $\omega v$ を入力するハイパスフィルタ4(高域周波数通過フィルタ)と、ハイパスフィルタ4の出力 $\omega v'$ およびガスレートジャイロ3の検出出力 $\omega g$ を処理する演算処理装置5とを備えている。
- [0024] 振動ジャイロ2とガスレートジャイロ3とは、それぞれの入力軸(検出する角速度の軸)が同一になるように(同じ角速度を検出するように)設けられている。これらの振動ジャイロ2およびガスレートジャイロ3が検出する角速度は1軸回りでもよいが、2軸あるいは3軸回りの角速度でもよい。2軸あるいは3軸回りの角速度を検出する場合には、その検出出力は、各軸回りの角速度の検出出力の組(ベクトル量)である。なお、振動ジャイロ2およびガスレートジャイロ3は公知のものでよい。
- [0025] 振動ジャイロ2の検出出力 $\omega v$ を入力するハイパスフィルタ4は、振動ジャイロ2の検出出力 $\omega v$ から低域周波成分(直流成分を含む)を除去するためのフィルタである。このハイパスフィルタ4は、振動ジャイロ2の検出出力 $\omega v$ のうちの、所定周波数(例えば数Hz程度)よりも高い高域周波数成分を通過させて出力すると共に、該所定周波数よりも低い低域周波数成分を遮断する。このようなハイパスフィルタ4は、例えば図2に示すように、コンデンサ6および抵抗7からなる回路8により構成される。なお、前記図1では図示を省略したが、ハイパスフィルタ4の出力 $\omega v'$ は、振動ジャイロ2の検出出力 $\omega v$ に含まれる高周波ノイズ(数kHz付近のノイズ)を除去しつつ出力レベルを調整する信号増幅回路9(図2に示す)を介して演算処理装置5に入力される。
- [0026] また、ガスレートジャイロ3の検出出力 $\omega g$ は、出力レベルを調整する図示しない信号増幅回路を介して演算処理装置5に入力される。
- [0027] ここで、振動ジャイロ2およびガスレートジャイロ3の出力特性をそれぞれ図3および図4を参照して説明しておく。これらの図3および図4には、電動モータなどにより回

転駆動されるターンテーブル(図示せず)に各ジャイロ2, 3を固定設置して、このターンテーブルの回転角速度を0から、あらかじめ定めた所定の回転角速度(一定値)にステップ状に変化させたときの、各ジャイロ2, 3の検出出力が示す角速度(角速度検出値)の経時変化の様子がそれぞれ図3の実線グラフa、図4の実線グラフbで示されている。また、各ジャイロ2, 3毎に、図示しない回転速度センサにより検出したターンテーブルの回転角速度の経時変化の様子がそれぞれ図3の実線グラフc、図4の実線グラフdで示されている。これらの実線グラフc, dが示すターンテーブルの回転角速度は、各ジャイロ2, 3に付与する実際の角速度(実角速度)に相当するものである。

- [0028] なお、これらの図3および図4では、縦軸の角速度は、ターンテーブルの定常状態の回転角速度の目標値を「1」として、正規化されている。また、各ジャイロ2, 3の検出出力は、ターンテーブルの回転軸(鉛直軸)と平行な軸回りの角速度を示すものである。また、図3に示す振動ジャイロ2の検出出力は、より正確には、その検出出力を前記ハイパスフィルタ4に通した後の出力(ハイパスフィルタ4の出力)である。
- [0029] 図3に示されるように、振動ジャイロ2の検出出力(ハイパスフィルタ4の出力)が示す角速度検出値は、ターンテーブルの回転角速度がステップ状に変化したとき、応答遅れをほとんど伴うことなく、ターンテーブルの回転角速度の変化に追従している。このように、振動ジャイロ2は、与えられる実際の角速度の変化に対する応答性が高い。但し、ターンテーブルの回転角速度がほぼ一定値に維持される定常状態では、振動ジャイロ2の検出出力(ハイパスフィルタ4の出力)が示す角速度検出値は、実際の角速度に対してドリフト(ハイパスフィルタ4の特性上、定常入力においては出力が減少する)が発生し、そのドリフト量が時間の経過と共に増加していく。
- [0030] また、図4に示されるように、ガスレートジャイロ3の検出出力(角速度検出値)は、ターンテーブルの回転角速度がステップ状に変化したとき、振動ジャイロ2よりも応答性が低いために、ターンテーブルの回転角速度の変化に対して応答遅れが発生している。一方、ターンテーブルの回転角速度がほぼ一定値に維持される定常状態では、ガスレートジャイロ3の検出出力(角速度検出値)は、ドリフトを生じることなく、実際の角速度に精度よく安定に維持される。このようにガスレートジャイロ3の検出出力は、

与えられる実角速度の変化に対する応答性は低い、定常状態での精度および安定性は高い。

[0031] 図1の説明に戻って、前記演算処理装置5は、ハイパスフィルタ4の出力 $\omega v'$ を逐次時系列的に記憶保持する記憶手段たるメモリ10と、このメモリ10に所定時間 $t_{sd}$ の時間差をおいて記憶保持される2つの出力値の差を逐次演算する減算処理部11と、この減算処理部11で求められた値とガスレートジャイロ3の検出出力 $\omega g$ とを加算する加算処理部12とを備えている。なお、減算処理部11および加算処理部12は、それぞれ本発明の角速度計測装置における減算処理手段、加算処理手段に相当するものである。

[0032] メモリ10は、ハイパスフィルタ4の出力 $\omega v'$ を所定のサンプリング周期 $\Delta t$ で逐次サンプリングし、そのサンプリングした出力値 $\omega v'$ の時系列 $\omega v'(t)$ ,  $\omega v'(t - \Delta t)$ ,  $\omega v'(t - 2\Delta t)$ , ……を所定時間 $t_{sd}$ の期間分、記憶保持する。すなわち、現在時刻 $t$ から所定時間 $t_{sd}$ 前までのハイパスフィルタ4の出力値 $\omega v'(t)$ ,  $\omega v'(t - \Delta t)$ , …,  $\omega v'(t - t_{sd})$ がメモリ10に記憶保持される。なお、新たな出力値をメモリ10に記憶保持する毎に、最も古い出力値がメモリ10から消去される。

[0033] 減算処理部11は、メモリ10に記憶保持したハイパスフィルタ4の現在時刻 $t$ の出力値 $\omega v'(t)$ から、メモリ10に記憶保持されている所定時間 $t_{sd}$ 前の出力値 $\omega v'(t - t_{sd})$ を減算する処理を逐次実行する。すなわち、メモリ10に記憶保持する各時刻のハイパスフィルタ4の出力値 $\omega v'$ から、その時刻の所定時間 $t_{sd}$ 前にメモリ10に記憶保持された出力値 $\omega v'$ を減算する処理が、減算処理部11により逐次実行される。ここで、所定時間 $t_{sd}$ は、振動ジャイロ2およびガスレートジャイロ3にステップ状に変化する角速度を与えたときの、各ジャイロ2, 3の検出出力の応答遅れの差に応じた時間にあらかじめ設定されている。例えば前記図4を参照して、ガスレートジャイロ3に付与する角速度がその最終定常値の所定割合の値に達した時刻(これは振動ジャイロ2の検出出力が示す角速度が当該所定割合の値に達する時刻にほぼ等しい)から、ガスレートジャイロ3の検出出力が示す角速度検出値が当該所定割合の値に達するまでに要する時間、すなわち、振動ジャイロ2の検出出力に対するガスレートジャイロ3の検出出力の応答遅れ時間(これは図示の例では約17msecである)にほぼ等しい時

間が前記所定時間 $t_{sd}$ として設定されている。このような所定時間 $t_{sd}$ は、あらかじめ実験やシミュレーションに基づいて定められている。

- [0034] 加算処理部12は、現在時刻 $t$ でのハイパスフィルタ4の出力値 $\omega v'(t)$ に対応して減算処理部11で求められた値 $\omega v'(t) - \omega v'(t - t_{sd})$ と、ガスレートジャイロ3の現在時刻 $t$ の出力値 $\omega g(t)$ とを加算する処理を逐次実行し、その処理により求めた値を最終的な角速度計測値として逐次出力するものである。
- [0035] これらの減算処理部11および加算処理部12の処理は、より一般化して言えば、各時刻におけるハイパスフィルタ4の出力値 $\omega v'$ およびガスレートジャイロ3の出力値 $\omega g$ に対して、出力値 $\omega v'$ から、当該時刻の所定時間 $t_{sd}$ 前の時刻におけるハイパスフィルタ4の出力値を減じたものを当該時刻におけるガスレートジャイロ3の出力値 $\omega g$ に加算する処理であるといえる。
- [0036] 次に、本実施形態の角速度計測装置1の作動を説明する。この角速度計測装置1では、振動ジャイロ2の検出出力 $\omega v$ をハイパスフィルタ4に入力することで、振動ジャイロ2の検出出力 $\omega v$ から低域周波数成分(直流成分を含む)が除去される。従って、ハイパスフィルタ4の出力 $\omega v'$ は、振動ジャイロ2の検出出力 $\omega v$ の変化速度が十分に小さい状態(振動ジャイロ2に付与される実際の角速度が一定となるか、もしくはその変化速度が十分に小さい状態)では、ほぼ「0」の出力値となる。このため、ハイパスフィルタ4の出力 $\omega v'$ は、振動ジャイロ2の検出出力 $\omega v$ のドリフトの影響をほとんど受けないものとなる。これはドリフトによる振動ジャイロ2の検出出力 $\omega v$ の変化は緩やかなもの(変化速度が小さいもの)となるからである。そして、このハイパスフィルタ4の出力値 $\omega v'$ の時系列 $\omega v'(t)$ ,  $\omega v'(t - \Delta t)$ , ...,  $\omega v'(t - t_{sd})$ がメモリ10に記憶保持されつつ、前記減算処理部11の演算が行なわれ、ハイパスフィルタ4の現在の出力値 $\omega v'(t)$ と、所定時間 $t_{sd}$ 前の出力値 $\omega v'(t - t_{sd})$ との差が求められる。このようにして減算処理部11で求められる差の値 $\omega v'(t) - \omega v'(t - t_{sd})$ は、振動ジャイロ2の検出出力 $\omega v$ 、ひいてはハイパスフィルタの出力値 $\omega v'$ が比較的大きな変化速度で変化している状態(すなわち、振動ジャイロ2に付与される実際の角速度が比較的急激に変化している状態)では、所定時間 $t_{sd}$ の期間における実際の角速度の変化量に精度よく合致するものとなる。これは、前記した如く、振動ジャイロ2の検出出力 $\omega v$ は、与えられ

る角速度の変化に対する応答性が高いためである。また、振動ジャイロ2の検出出力  $\omega v$  の変化速度が定常的に十分に小さい状態では、 $\omega v'(t) - \omega v'(t - t_{sd})$  は、0、もしくは0に近い値になる。

[0037] そして、減算処理部11より求められた値  $\omega v'(t) - \omega v'(t - t_{sd})$  が、加算処理部12により、ガスレートジャイロ3の現在の検出出力  $\omega g(t)$  に加算される。

[0038] ここで、ガスレートジャイロ3の検出出力  $\omega g$  は、与えられる実際の角速度の変化に対して前記所定時間  $t_{sd}$  にほぼ等しい時間の応答遅れを生じるものである。また、与えられる角速度の変化速度が比較的大きい状態では、前記した如く、減算処理部11で求められる差の値  $\omega v'(t) - \omega v'(t - t_{sd})$  は、所定時間  $t_{sd}$  の期間における実際の角速度の変化量に精度よく合致するものとなる。このため、実際の角速度の変化速度が比較的大きい状態では、加算処理部12により求められる値  $\omega g(t) + (\omega v'(t) - \omega v'(t - t_{sd}))$  は、ガスレートジャイロ3の検出出力  $\omega g$  をその応答遅れ分を補償するようにして修正したものとなる。

[0039] また、与えられる実際の角速度の変化速度が比較的小さい状態では、前記したように、 $\omega v'(t) - \omega v'(t - t_{sd}) \approx 0$  となるので、加算処理部12により求められる値  $\omega g(t) + (\omega v'(t) - \omega v'(t - t_{sd}))$  は、ほぼ  $\omega g(t)$  に等しいものとなる。この場合、ガスレートジャイロ3の検出出力  $\omega g$  は、角速度がほぼ一定となる状態では、精度よく且つ安定に実際の角速度に対応するものとなる。このため、加算処理部12により求められる値  $\omega g(t) + (\omega v'(t) - \omega v'(t - t_{sd}))$  も精度よく且つ安定に実際の角速度に対応するものとなる。

[0040] 本実施形態の角速度計測装置1は、以上のようにして加算処理部12により求められた値  $\omega g(t) + (\omega v'(t) - \omega v'(t - t_{sd}))$  を最終的な角速度計測値として逐次出力する。

[0041] かかる角速度計測装置1の出力の例を図5を参照して説明する。図5には、角速度計測装置1の振動ジャイロ2およびガスレートジャイロ3を前記図3および図4の場合と同様にターンテーブルに固定設置して、このターンテーブルの回転速度を0から所定の回転角速度(一定値)にステップ状に変化させたときの、角速度計測装置1の出力(角速度計測値)の経時変化の様子が実線グラフeで示されている。また、図示しな

い回転速度センサにより検出したターンテーブルの回転角速度の経時変化の様子が実線グラフfで示されていると共に、振動ジャイロ2およびガスレートジャイロ3の検出出力(角速度検出値)の経時変化の様子がそれぞれ破線グラフg, hで示されている。なお、縦軸の角速度は、ターンテーブルの定常状態での角速度の目標値を「1」として、正規化されている。また、角速度計測装置1の出力(角速度計測値)、並びに各ジャイロ2, 3の検出出力(角速度検出値)は、ターンテーブルの回転軸(鉛直軸)と平行な軸回りの角速度を示すものである。また、図5中の振動ジャイロ2の検出出力のグラフgは、より正確には、振動ジャイロ2の検出出力をハイパスフィルタ4に通した後の出力(ハイパスフィルタ4の出力)の変化を示すグラフである。

[0042] 同図5に示されるように、角速度計測装置1の出力(角速度計測値)は、ターンテーブルの回転角速度がステップ状に変化したとき、振動ジャイロ2の検出出力(ハイパスフィルタ4の出力)と同様に、応答遅れをほとんど伴うことなく、ターンテーブルの回転角速度の変化に追従している。また、ターンテーブルの回転角速度がほぼ一定値に維持される定常状態では、ガスレートジャイロ3の検出出力と同様に、ドリフトを生じることなく、実際の角速度に精度よく安定に維持される。

[0043] このように、本実施形態の角速度計測装置1の出力は、高い応答性と安定性を有し、与えられる実際の角速度の変化状態によらずに、精度よく合致するものとなる。

[0044] 次に、本発明の脚式移動ロボットの一実施形態を図6および図7を参照して説明する。図6は脚式移動ロボットとしての2足移動ロボットの外観側面図、図7はこの2足移動ロボットの制御システムの概略構成を示すブロック図である。

[0045] 図6を参照して、本実施形態の2足移動ロボット21(以下、単にロボット21という)は、上体22(基体)の下端部から股関節23aを介して脚体23が延設され、また、上体22の上部の側部から肩関節24aを介して腕体24が延設されている。脚体23および腕体24は、図6ではロボット21の前方に向かって右側のもののみが図示されているが、それぞれ左右一対ずつ備えられている。なお、上体22は、本発明の2足移動ロボットにおける所定の部位に相当するものである。

[0046] 各脚体23は、股関節23aのほか、該脚体23の先端側に向かって順番に膝関節23bおよび足首関節23cを備え、これらの各関節23a～23cでの1軸もしくは複数軸の

回りの回転運動が可能となっている。同様に、各腕体24は、肩関節24aのほか、該腕体24の先端側に向かって順番に肘関節24bおよび手首関節24cを備え、これらの各関節24a～24cでの1軸もしくは複数軸回りの回転運動が可能となっている。

[0047] なお、図6では図示を省略するが、これらの各脚体23および各腕体24の各関節23a～23c、24a～24cには、電動モータなどの関節アクチュエータが設けられている。後に説明する図7で参照符号30を付して示した「関節アクチュエータ」は、それらの複数の関節アクチュエータを総称的に示したものである。

[0048] ロボット21の上体22の背面部には、マイクロコンピュータ(図示せず)を含む制御回路ユニット26と、前記の実施形態の角速度計測装置1と、加速度センサ27とが搭載されている。この場合、角速度計測装置1は、ロボット21の上体22の上下方向、前後方向、および左右方向の3つの軸回りの角速度を計測し、その3軸回りの角速度計測値の組を制御回路ユニット26に出力する。同様に、加速度センサ27は、ロボット21の上体22の上下方向、前後方向、および左右方向の3つの軸方向の加速度を計測し、その3軸方向の加速度計測値の組を制御回路ユニット26に出力する。なお、ロボット21の直立姿勢状態では、上体22の上下方向は鉛直方向(重力方向)に一致する。

[0049] 補足すると、角速度計測装置1の演算処理装置5、あるいは、これとハイパスフィルタ4とは、制御回路ユニット26に組み込まれていてもよい。この場合、ハイパスフィルタ4の出力およびガスレートジャイロ3の検出出力、あるいは、振動ジャイロ2およびガスレートジャイロ3の検出出力は、制御回路ユニット26にA/D変換器を介して入力するようにすればよい。

[0050] 制御回路ユニット26は、図7に示すように、角速度計測装置1および加速度センサ27の出力を基に、ロボット21の上体22の姿勢角(鉛直方向(重力方向)に対する傾斜角)を推定する姿勢角推定手段28と、この姿勢角推定手段28により推定された上体22の姿勢角などを基に、ロボット21の各関節23a～23c、24a～24cの関節駆動指令信号を生成し、それを各関節アクチュエータ30に出力する制御手段29とを備えている。制御手段29が生成する関節駆動指令信号は、各関節アクチュエータ30の回転角度を指示する信号である。

- [0051] かかる本実施形態のロボット1では、制御回路ユニット26は、その姿勢角推定手段28により、ロボット21の上体22の姿勢角を推定する処理を逐次実行しながら、制御手段29により関節駆動指令信号を逐次生成する。この場合、姿勢角推定手段28は、加速度センサ27から出力される加速度計測値からローパスフィルタ(図示せず)により所定周波数よりも高い高域周波数成分を除いたもの(これは主に重力による加速度成分に相当するものとなる)から上体22の姿勢角(鉛直方向に対する傾斜角)の基本値を逐次算出する。そして、姿勢角推定手段28は、角速度計測装置1から出力される角速度計測値を積分して得られる上体22の姿勢角(鉛直方向に対する傾斜角)から、ハイパスフィルタ(図示せず)により所定周波数よりも低い低域周波数成分(直流成分を含む)を除いたものを逐次抽出し、これに前記基本値を加えたものを、上体22の姿勢角の推定値として逐次求める。
- [0052] 補足すると、角速度計測装置1から出力される角速度計測値を積分したものを上体22の姿勢角の推定値として得るようにしてもよい。但し、角速度計測値の積分値には、角速度計測値の誤差が蓄積されていく。また、加速度センサ27の加速度計測値から求められる上体22の姿勢角は、ロボット21の運動が行なわれている状態では、その運動加速度(慣性力の加速度)の影響によって、誤差が生じやすい。そこで、本実施形態では、加速度センサ27の加速度計測値と角速度計測装置1の角速度計測値との両者を用いて、上記の如く上体22の姿勢角の推定値を求めるようにした。
- [0053] そして、制御手段29は、例えば次のようにしてロボット21の姿勢制御を行なう。すなわち、制御手段29には図示しない目標歩容生成手段からロボット21の各部の空間的な目標位置および目標姿勢角を規定する目標データ(例えば各脚体23および各腕体24の先端部の目標位置および目標姿勢角、上体22の目標位置および目標姿勢角など)が与えられる。そして、制御手段29は、その目標データにより定まるロボット21の上体22の目標姿勢角と、姿勢角推定手段28で推定された上体22の姿勢角とを比較し、その姿勢角の推定値が目標姿勢角に近づくように、前記目標データを修正する。さらに、制御手段29は、その修正された目標データから、ロボット21の各関節23a~23c, 24a~24cの関節駆動指令信号を生成し、それを各関節アクチュエータ30に出力する。このとき、各関節アクチュエータ30は、与えられた関節駆動指

令信号に従って動作し、これによりロボット21の姿勢制御がなされる。

[0054] 以上のように、本実施形態のロボット21では、ロボット21の上体22の姿勢角を推定するために、前記角速度計測装置1と加速度センサ27とが用いられる。この場合、特に、角速度計測装置1は、前記した通り応答性および安定性が高いものであるので、姿勢角推定手段28の処理により、上体22の姿勢角の推定値を精度よく得ることがきる。このため、ロボット21の姿勢制御を好適に行なうことができる。

[0055] なお、本実施形態では、ロボット21の上体22の姿勢角を推定するようにしたが、ロボット21の他の部位、例えば各脚体23の大腿部(股関節23aと膝関節23bとの間のリンク)の姿勢角を推定するようにしてもよい。ロボット1の各関節の回転角度は、例えば前記関節駆動指令信号や、適宜のセンサを用いて把握できるので、ロボット21の1つの部位(リンク)の姿勢角を推定すれば、幾何学的演算によってロボット21の他の部位の姿勢角も推定できる。

#### 産業上の利用可能性

[0056] 以上のように本発明の角速度計測装置は、角速度の計測を、安価なセンサを使用しながら、高い応答性と安定性とを両立させて行なうことができ、種々様々の対象物の角速度を計測する場合に有用である。特に、角速度の計測の高い応答性と安定性とを安価なセンサを使用して実現できることから、脚式移動ロボットの姿勢制御のために有効に活用することができる。

#### 図面の簡単な説明

[0057] [図1]本発明の角速度計測装置の一実施形態の構成を示すブロック図。

[図2]図1に示す振動ジャイロと演算処理装置との間の具体的な回路構成を示す回路図。

[図3]実施形態で用いる振動ジャイロの出力特性を示すグラフ。

[図4]実施形態で用いるガスレートジャイロの出力特性を示すグラフ。

[図5]実施形態の角速度計測装置の出力特性を示すグラフ。

[図6]本発明の脚式移動ロボットの一実施形態の外観側面図。

[図7]実施形態のロボットの制御システムの概略構成を示すブロック図。

## 請求の範囲

- [1] 角速度の検出出力を発生する第1のセンサと、角速度の検出出力を発生し、該第1のセンサよりも検出出力のドリフト量が少ない第2のセンサと、前記第1のセンサの検出出力が入力されるとともに該検出出力のうちの所定の周波数よりも高い高域周波数成分を出力する高域周波数通過フィルタと、該高域周波数通過フィルタの出力値を逐次記憶保持する記憶手段と、該高域周波数通過フィルタの出力値から前記記憶手段に記憶保持されている所定時間前の出力値を減じる処理を逐次実行する減算処理手段と、該減算処理手段により得られた値を前記第2のセンサの出力値に加える処理を逐次実行する加算処理手段とを備え、該加算処理手段により求められた値を角速度の計測値として得るようにしたことを特徴とする角速度計測装置。
- [2] 前記第1のセンサは前記第2のセンサよりも角速度の変化に対する検出出力の応答遅れが短い出力特性を有するとともに、前記所定時間は、前記第1のセンサの応答遅れと第2のセンサの応答遅れとの差に応じた時間に設定されていることを特徴とする請求項1記載の角速度計測装置。
- [3] 前記第1のセンサは振動ジャイロであり、前記第2のセンサはガスレートジャイロであることを特徴とする請求項1記載の角速度計測装置。
- [4] 上体から延設された2本の脚体と、  
角速度の検出出力を発生する第1のセンサと、角速度の検出出力を発生し、該第1のセンサよりも検出出力のドリフト量が少ない第2のセンサと、前記第1のセンサの検出出力が入力されるとともに該検出出力のうちの所定の周波数よりも高い高域周波数成分を出力する高域周波数通過フィルタと、該高域周波数通過フィルタの出力値を逐次記憶保持する記憶手段と、該高域周波数通過フィルタの出力値から前記記憶手段に記憶保持されている所定時間前の出力値を減じる処理を逐次実行する減算処理手段と、該減算処理手段により得られた値を前記第2のセンサの出力値に加える処理を逐次実行する加算処理手段とを備え、該加算処理手段により求められた値を角速度の計測値として得るようにした角速度計測装置と、  
少なくとも該角速度計測装置から得られる角速度の計測値を基に、所定の部位の姿勢角を推定する姿勢角推定手段と、

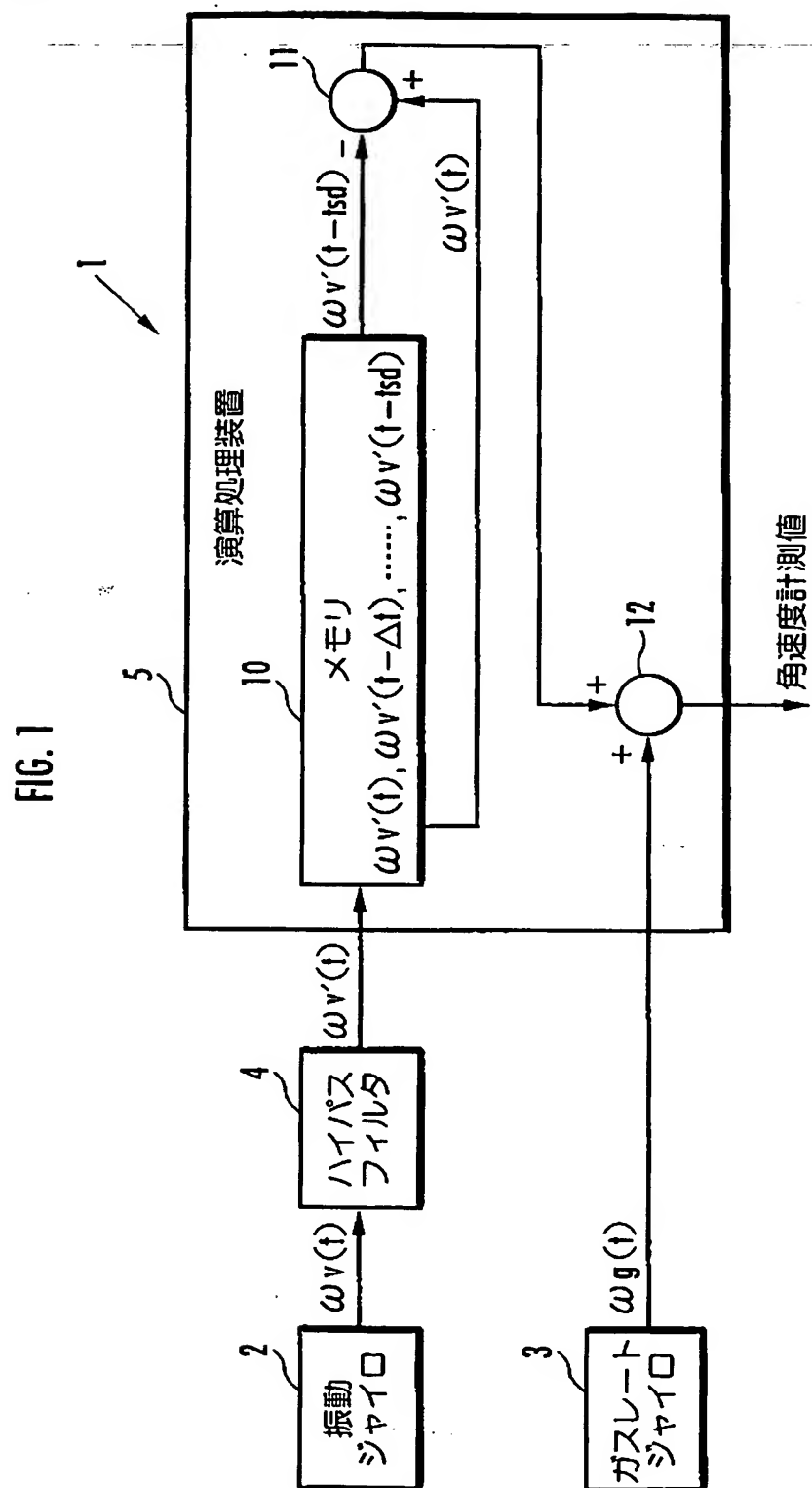
少なくとも該姿勢角推定手段により推定した姿勢角を基に該ロボットの関節駆動指令信号を生成する制御手段とを備え、

該関節駆動指令信号に応じてロボットの関節を駆動する関節アクチュエータを動作させるようにしたことを特徴とする脚式移動ロボット。

- [5] 前記ロボットに作用する重力加速度を含む加速度を計測する加速度センサを備え、前記姿勢角推定手段は、前記角速度計測装置から得られる角速度の計測値と加速度センサから得られる加速度の計測値とを基に前記所定の部位の姿勢角を推定することを特徴とする請求項4記載の脚式移動ロボット。

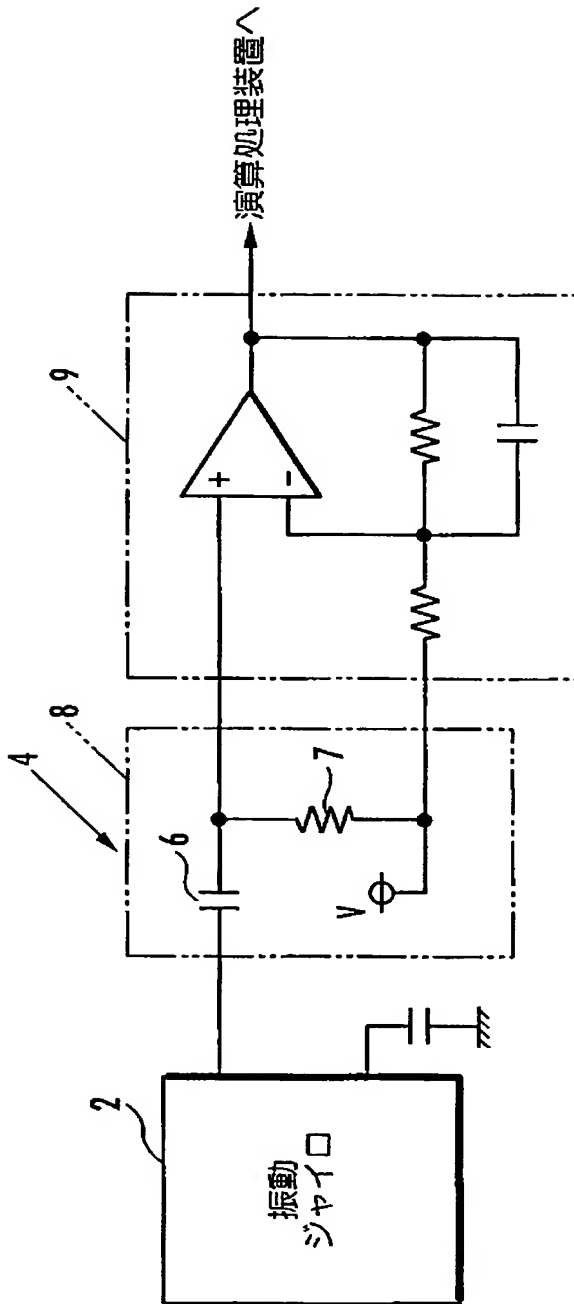
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

[図1]



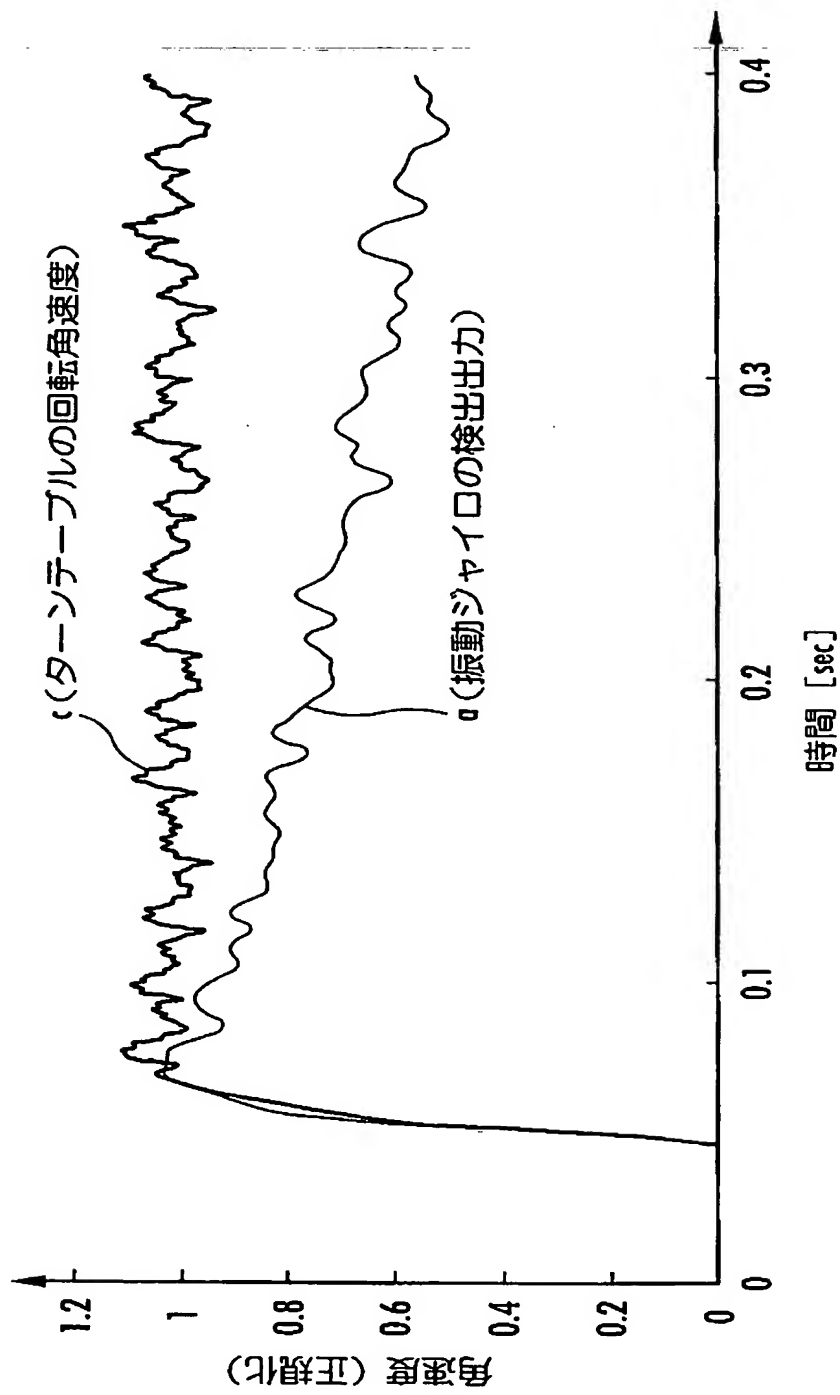
[図2]

FIG. 2



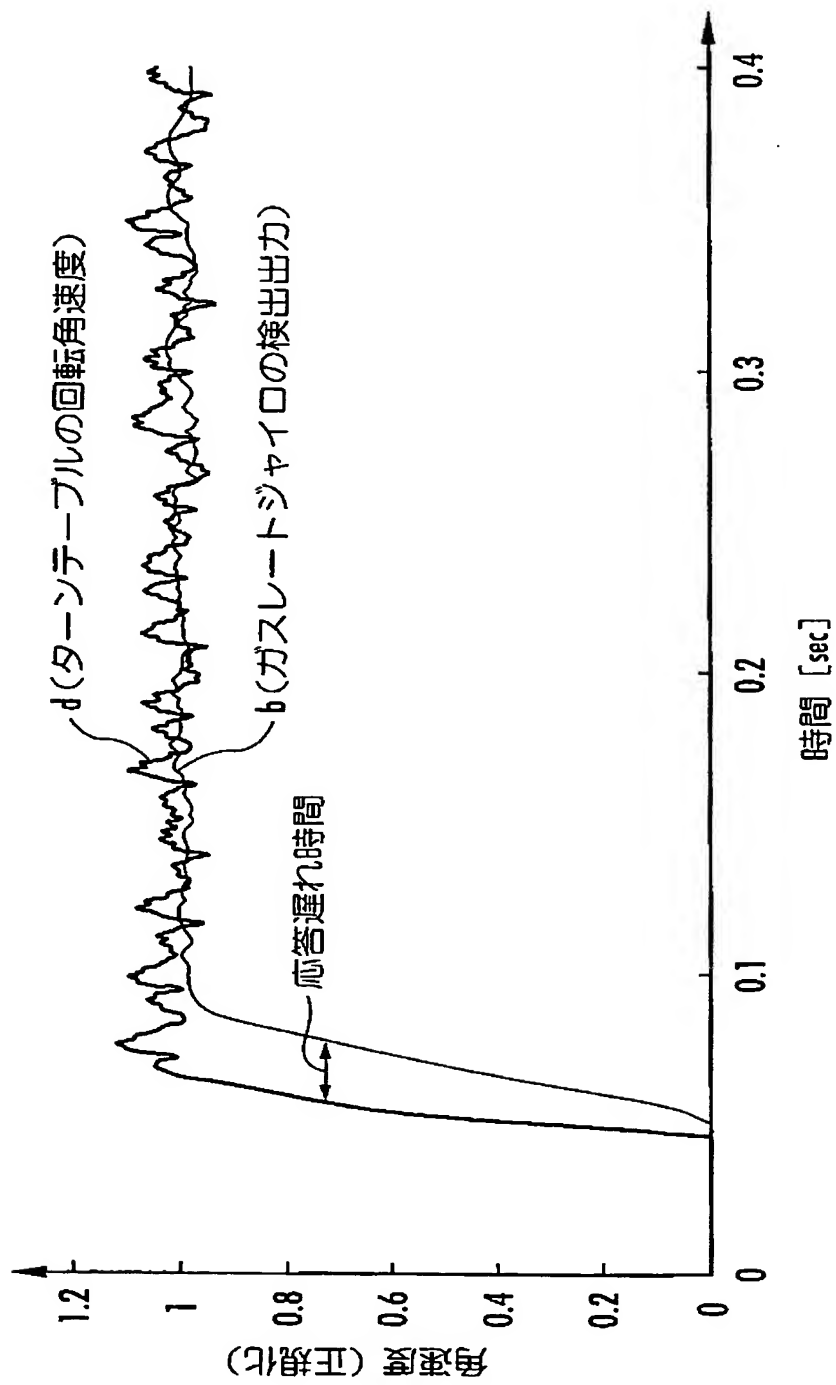
[図3]

FIG. 3



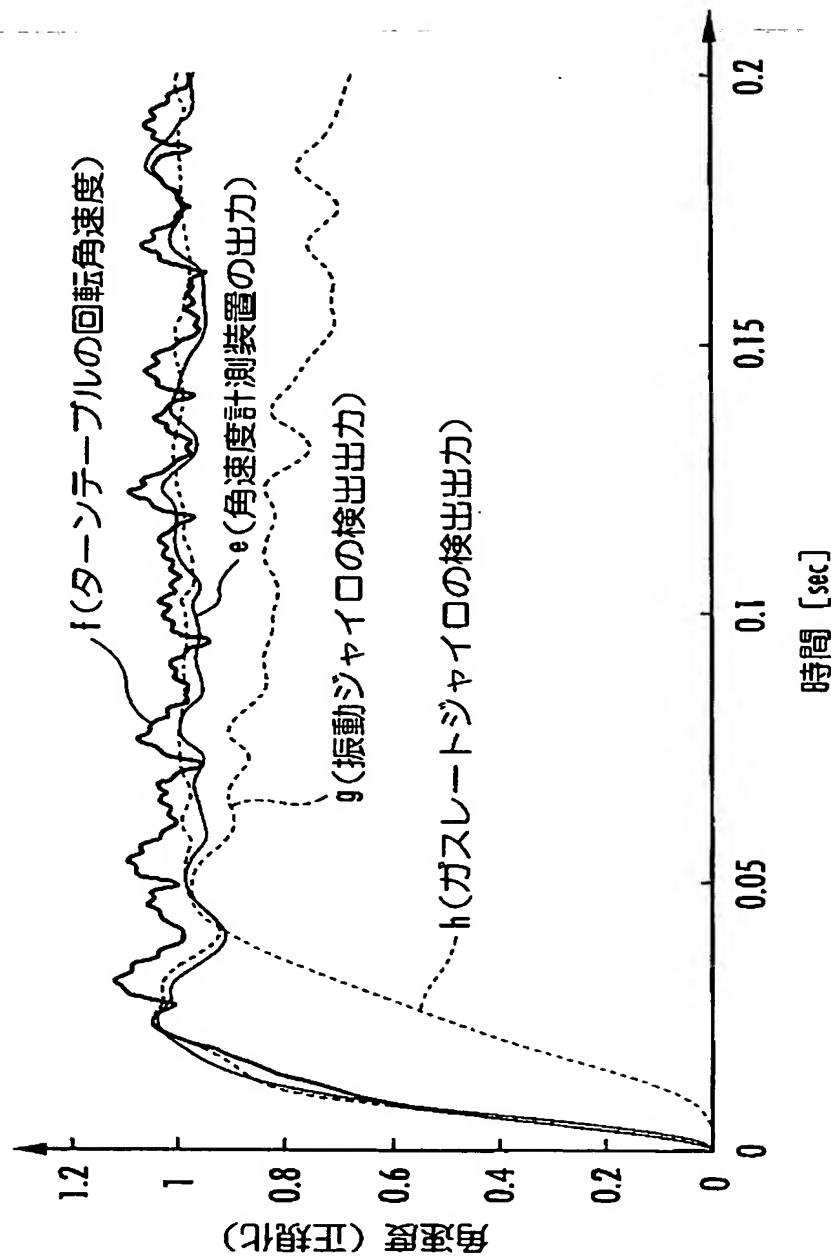
[図4]

FIG. 4



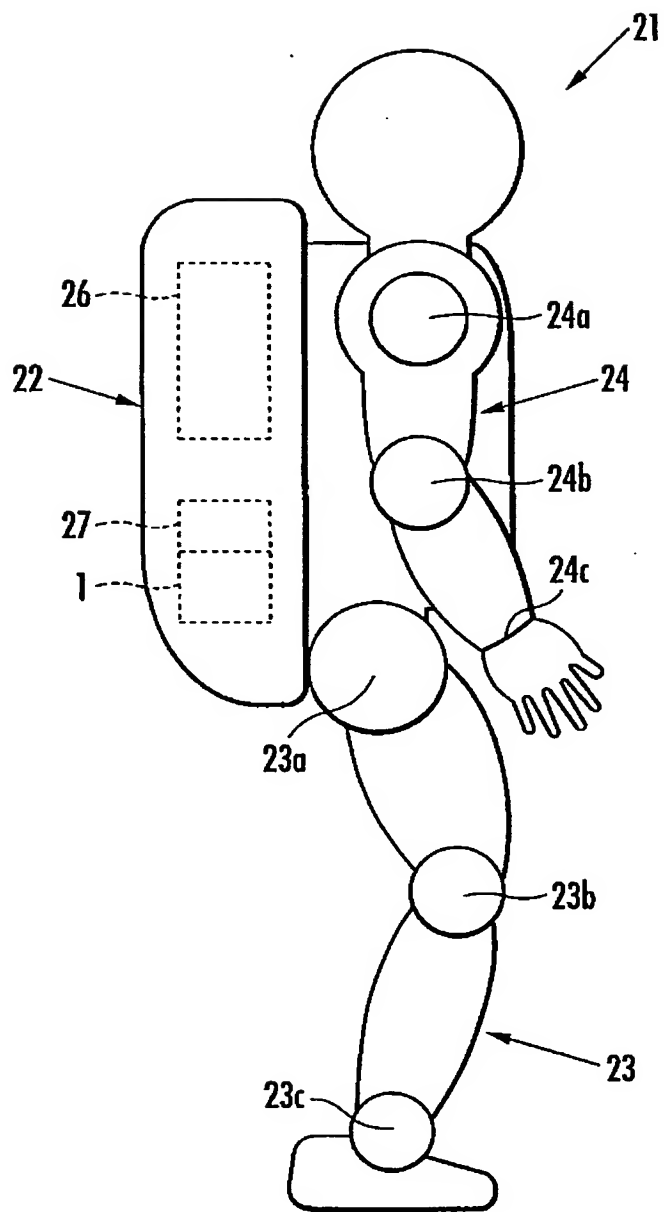
[図5]

FIG. 5



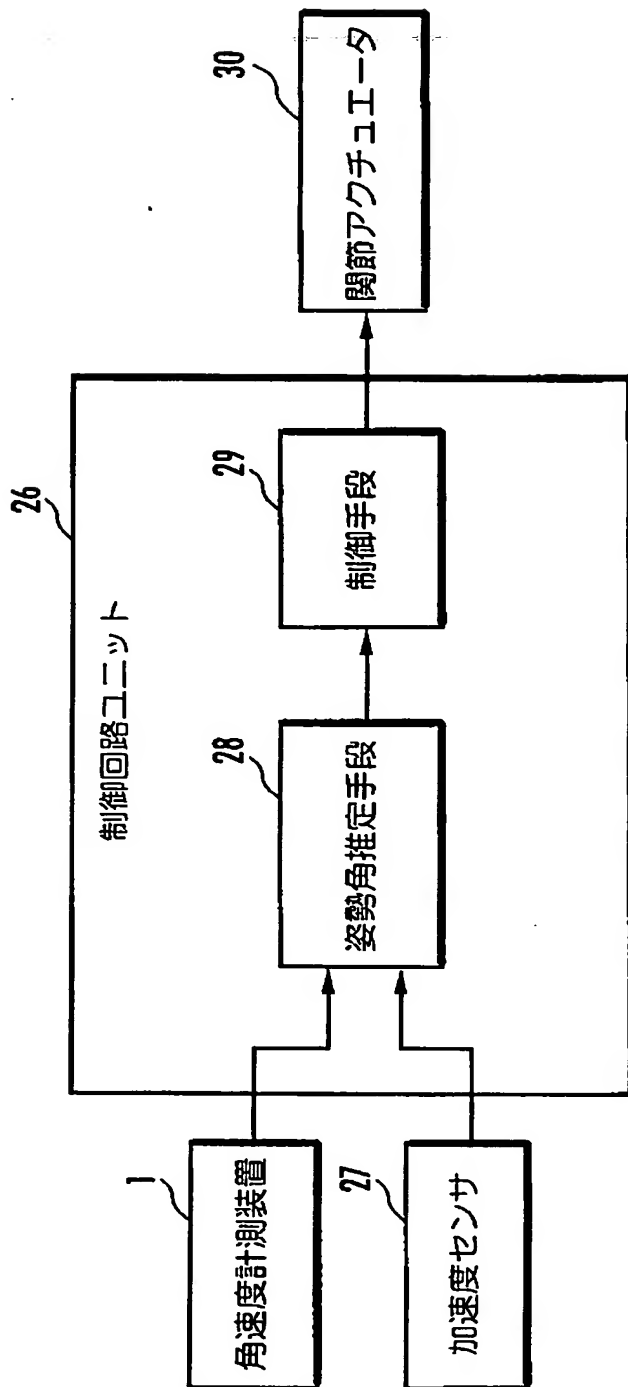
[図6]

FIG. 6



[図7]

FIG. 7



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> G01C19/00 (2006.01), G01P9/00 (2006.01), B25J5/00 (2006.01)

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> G01C19/00-19/72 (2006.01), G01P9/00-9/04 (2006.01), B25J1/00-21/02 (2006.01)

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 9-203637 A (オリンパス光学工業株式会社) 1997.08.05, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-5
A	J P 2002-90151 A (日本航空電子工業株式会社) 2002.03.27, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-5
PA	J P 2005-30767 A (日本遠隔制御株式会社) 2005.02.03, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-5

□ C欄の続きにも文献が列挙されている。

□ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

11.10.2005

国際調査報告の発送日

18.10.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

大和田 有軌

2S

3004

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**